

Reconstrucción histórica y escenarios prospectivos de la mortalidad vial en Colombia (1986-2025)

Historical reconstruction and prospective scenarios of road traffic mortality in Colombia (1986-2025)

HENRY VERGARA BARRETO

Candidato a Doctorado en Ingeniería. Magister en Ingeniería Civil.
Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2422-2351>
henryvergara@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 19/01/2026 Aceptado: 24/02/2026

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este estudio se demuestra que la evolución histórica de la mortalidad vial en Colombia no responde a un crecimiento continuo, sino a una dinámica no monótona integrada por tres regímenes temporales diferenciados. La mortalidad por siniestros viales es un desafío central de salud pública y de sostenibilidad del transporte, pero la evidencia longitudinal que caracterice su comportamiento a largo plazo y proyecte su trayectoria es escasa. Se analizaron la serie anual de personas fallecidas y la tasa por 100.000 habitantes entre 1986 y 2025 ($n = 40$), integrada a partir de registros oficiales con criterios de trazabilidad. Se ajustaron modelos Arima con un término de intervención de tipo pulso para el choque pandémico de 2020, seleccionados por AICc y validados fuera de muestra, y se contrastaron con un modelo estructural de componentes no observados y una regresión segmentada.

La serie exhibe tres fases —crecimiento (1986-1997), descenso (1997-2006) y recuperación (2006-2025)—: la tasa alcanzó su máximo histórico en 1995 (22,0 por 100.000), y pese a que 2025 registra el máximo absoluto de fallecidos, el riesgo per cápita (16,4) permanece por debajo de aquel pico. El modelo Arima (0,1,2) con intervención presentó residuos sin autocorrelación ni heterocedasticidad, con un error porcentual absoluto medio fuera de muestra del 11,4 %. La inferencia a 2030 y 2035 delimita un rango entre la estabilización en torno a 8.850 fallecidos anuales y una continuidad ascendente hacia

10.000. La trayectoria proyectada más que duplica la meta del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031, que resulta inalcanzable si no se produce un cambio estructural sin precedentes. Los hallazgos justifican fortalecer el enfoque de sistema seguro, el monitoreo continuo de la serie y una gobernanza multisectorial que incorpore a los sectores de salud y educación.

Palabras claves: seguridad vial, mortalidad vial, análisis de tendencias, modelos Arima, intervención, motociclistas, sistema seguro, gobernanza multisectorial, Colombia.

Abstract

This study shows that the historical evolution of road traffic mortality in Colombia does not follow continuous growth but a non-monotonic dynamic comprising three distinct temporal regimes. Road traffic mortality is a central public-health and transport-sustainability challenge, yet longitudinal evidence characterizing its long-term behavior and projecting its trajectory remains scarce. We analyzed the annual series of road traffic fatalities and the rate per 100,000 inhabitants between 1986 and 2025 ($n = 40$), compiled from official records under explicit traceability criteria. Arima models with a pulse intervention term for the 2020 pandemic shock were fitted, selected by AICc and validated out of sample, and contrasted with an unobserved-components structural model and a segmented regression.

The series displays three phases —growth (1986-1997), decline (1997-2006) and recovery (2006-2025): the rate peaked in 1995 (22.0 per 100,000) and, although 2025 records the all-time high in counts, per-capita risk (16.4) remains below that peak. The Arima (0,1,2) model with intervention showed residuals free of autocorrelation and heteroscedasticity, with an out-of-sample mean absolute percentage error of 11.4 %. Inference to 2030 and 2035 sets a range between stabilization around 8,850 annual fatalities and a continued rise toward 10,000. The projected trajectory more than doubles the target of the National Road Safety Plan 2022-2031, which is unattainable without unprecedented structural change. The findings encourage strengthening the safe system approach, continuous monitoring of the series and multisectoral governance involving the health and education sectors.

Keywords: road safety, road mortality, trend analysis, Arima models, intervention, motorcyclists, safe system, multisectoral governance, Colombia.

INTRODUCCIÓN

Los siniestros viales causan cerca de 1,19 millones de muertes anuales en el planeta y constituyen la principal causa de defunción entre las personas de 5 a 29 años, una carga que recae de manera desproporcionada sobre los países de ingresos bajo y medio (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2023). Más allá de su magnitud sanitaria, esta mortalidad compromete la sostenibilidad del sistema de transporte y el bienestar social, lo que la sitúa en el centro de la agenda de política pública.

Colombia ilustra este problema con una trayectoria histórica particular. Entre 1986 y 2025, las personas fallecidas en siniestros viales pasaron de 3.535 a 8.697, pero esta evolución no ha sido monótona: tras alcanzar un máximo a mediados de los años noventa, la mortalidad descendió durante la década siguiente y volvió a crecer con posterioridad. Diversos factores estructurales —la motorización acelerada, la expansión del parque de motocicletas, la maduración institucional del sector y los cambios en la exposición al riesgo— se han propuesto como impulsores de esta dinámica (Castañeda-Millán & Eslava-Schmalbach, 2024; Rodríguez Hernández et al., 2025). Frente a referentes internacionales con tasas inferiores a 5 por 100.000, el país mantiene niveles sustancialmente más altos (International Transport Forum [ITF], 2024).

El problema científico no se limita al incremento en el número de víctimas. Aun cuando existen múltiples reportes descriptivos periódicos, todavía se desconoce si la evolución observada corresponde a un crecimiento continuo o a una sucesión de regímenes temporales

diferenciados, y qué trayectoria es previsible una vez controlado el choque extraordinario introducido por la pandemia de covid-19 en 2020. Resolver esta cuestión con métodos de series de tiempo es condición necesaria para fundamentar decisiones de política basadas en evidencia.

De esta formulación se desprenden tres vacíos. En el plano empírico, son escasos los estudios longitudinales que aprovechan la serie nacional completa, puesto que la mayoría se concentra en ventanas recientes o en subpoblaciones. En el plano metodológico, es limitada la integración entre la modelación de tendencia y el tratamiento explícito de choques extraordinarios, en tanto que en el plano prospectivo existen pocas proyecciones con cuantificación honesta de la incertidumbre. El presente estudio se posiciona en esa intersección.

Pregunta de investigación

¿Cómo ha evolucionado la mortalidad vial en Colombia entre 1986 y 2025 y qué trayectoria es esperable para el horizonte 2026-2035, con hitos a cinco (2030) y diez (2035) años, una vez controlado el choque pandémico de 2020? De esta se derivan dos hipótesis: (H1) la tendencia a largo plazo es no monótona, con un máximo en los años noventa, y (H2) el efecto de 2020 corresponde a un choque transitorio y no a un cambio permanente de régimen.

Objetivos

El objetivo general es caracterizar y proyectar la dinámica temporal de la mortalidad vial en Colombia. Los objetivos específicos son dos:

- Ajustar modelos de series de tiempo a las series de fatalidades y de tasa por 100.000 habitantes, incorporando el choque de 2020 como intervención.
- Generar pronósticos para el horizonte 2026-2035, con hitos a cinco (2030) y diez (2035) años e intervalos de predicción.

La contribución central es demostrar que la mortalidad vial colombiana no sigue una tendencia creciente continua, sino una dinámica no monótona en tres fases —crecimiento (1986-1997), descenso (1997-2006) y recuperación (2006-2025)—, de modo que el máximo absoluto de fallecidos de 2025 coexiste con un riesgo per cápita incluso inferior al pico de los años noventa;

este hallazgo modifica la interpretación de política pública. Tres aportes la sustentan: empírico —cuarenta años de datos armonizados con documentación de sus discontinuidades—, metodológico —integración de Arima con un término de intervención y validación fuera de muestra, evitando imputar el dato pandémico— y aplicado —vínculo de los puntos de giro con la cronología institucional para orientar el monitoreo—.

El estudio se limita a una caracterización descriptiva y prospectiva de la dinámica agregada; no persigue un modelo causal de los determinantes —exposición, parque automotor, vehículos-kilómetro o composición modal—, cuya incorporación constituye una agenda posterior.

En el resto del artículo se revisan la bibliografía existente (sección 2), la metodología (sección 3), los resultados (sección 4), la discusión (sección 5), las conclusiones (sección 6) y las implicaciones (sección 7).

REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

Modelación temporal

El análisis de tendencias de siniestralidad dispone de un cuerpo metodológico consolidado. Commandeur et al. (2013) mostraron que los modelos de espacio de estados superan las aproximaciones determinísticas al captar tendencias estocásticas, mientras que Yannis et al. (2011) extendieron el enfoque a modelos autorregresivos no lineales en Europa. La tradición Box-Jenkins de modelos Arima (Box et al., 2015) y las guías de pronóstico contemporáneas (Hyndman & Athanasopoulos, 2021) ofrecen el andamiaje para series anuales, en tanto que Hauer (2015) advierte sobre los riesgos de sobreajuste.

En América Latina, Quintero Valverde et al. (2023) emplearon un diseño de series de tiempo interrumpidas para evaluar políticas de seguridad vial en Ciudad de México, lo que evidencia el valor de los términos de intervención; sin embargo, falta la aplicación de este instrumental a la serie nacional colombiana a largo plazo.

Sistema seguro

El paradigma de sistema seguro reorienta la responsabilidad desde el usuario hacia los diseñadores del sistema. Tingvall y Haworth (1999) formularon la filosofía de visión cero, en tanto que Larsson et al. (2010) la fun-

damentaron desde la teoría de sistemas, concibiendo la seguridad como propiedad emergente de la interacción entre infraestructura, vehículos, velocidades y atención postsiniestro. Los países que lo adoptaron de manera integral registran las tasas más bajas del mundo (ITF, 2024; Wegman, 2017). Para Colombia, este marco es pertinente porque su adopción formal es reciente y aún no se refleja en los resultados.

Evidencia internacional y latinoamericana

La evidencia regional documenta trayectorias preocupantes. En Brasil, Malta et al. (2023) analizaron la mortalidad por transporte en municipios entre 2000 y 2018, y destacaron la heterogeneidad territorial. En Colombia, Murillo-Hoyos et al. (2023) revelaron desigualdades sociales en la mortalidad por lesiones de tránsito, y Rodríguez Hernández et al. (2025) cuantificaron el subregistro derivado de la mala clasificación de causas, un hallazgo crítico para la calidad de las series.

En la bibliografía se documenta, además, una participación creciente de los motociclistas en la mortalidad regional (Castañeda-Millán & Eslava-Schmalbach, 2024; De Oliveira Santiago et al., 2023; Ospina-Mateus et al., 2020; Berrones-Sanz, 2017), rasgo característico de los países de motorización acelerada. En conjunto, esta evidencia confirma que la comparabilidad y la trazabilidad de los datos son condiciones previas a cualquier modelación rigurosa.

Vacíos del conocimiento y posicionamiento

La bibliografía permite delimitar el vacío con precisión. Se sabe que la mortalidad regional crece, que los motociclistas concentran el riesgo y que la calidad de los registros es problemática; no se sabe, en cambio, cómo se comporta la serie nacional colombiana a largo plazo, ni si su evolución reciente es una tendencia continua o el tramo ascendente de una dinámica más compleja, ni qué trayectoria se espera una vez controlado el choque pandémico. De ahí, tres vacíos: empírico —escasez de estudios sobre la serie completa de cuatro décadas—, metodológico —limitada integración entre los modelos de tendencia y el tratamiento explícito de choques extraordinarios— y prospectivo —ausencia de proyecciones con incertidumbre transparente—.

En el presente estudio se abordan los tres mediante la reconstrucción histórica de la serie 1986-2025 y un enfoque Arima con intervención, y su aporte distintivo

consiste en mostrar que la lectura de un crecimiento continuo es incompleta. En conjunto, la bibliografía revela una tensión no resuelta: mientras la modelación de series de tiempo ha alcanzado sofisticación creciente —del enfoque Box-Jenkins a los modelos de espacio de estados y a los diseños de series interrumpidas—, su aplicación a la seguridad vial latinoamericana sigue subordinada a la calidad y comparabilidad de los registros, de modo que el principal cuello de botella no es metodológico, sino de datos; este trabajo se posiciona precisamente en esa intersección, priorizando la trazabilidad de una serie larga antes que la complejidad del modelo.

METODOLOGÍA

Datos y trazabilidad

La variable de estudio es el número anual de personas fallecidas en siniestros viales en Colombia, 1986-2025 ($n = 40$), y su tasa por 100.000 habitantes, calculada con proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2023). La serie integra fuentes oficiales sucesivas —el Fondo de Prevención Vial, el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, y el Observatorio Nacional de Seguridad Vial de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV)—, con criterios explícitos de trazabilidad (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses [INMLCF], 2024; Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV], 2025). Se reconocen discontinuidades metodológicas (cambios en módulos de consulta, definición del indicador tradicional frente al de fallecidos a 30 días y depuración de cifras preliminares de 2025), documentadas en el anexo de trazabilidad. El normograma de la legislación nacional asociada se reporta también en el anexo.

Tratamiento del choque de 2020

El año 2020 registró un descenso atípico, atribuible a las restricciones de movilidad por la pandemia de covid-19. En lugar de sustituir el dato observado por un valor imputado, se trató como un choque exógeno mediante un término de intervención de tipo pulso (variable indicadora igual a uno en 2020 y cero en el resto), incorporado como regresor. Se optó por un pulso y no por un escalón porque la evidencia posterior muestra el retorno de la serie a su nivel previo en 2021-2022:

un escalón supondría un cambio permanente de nivel que los datos no respaldan, mientras que el pulso capta un efecto transitorio, coherente con la hipótesis H2. Este procedimiento permite que el dato real informe la estimación y que la magnitud del choque se cuantifique con su propia incertidumbre, evitando los sesgos de la imputación determinística.

Estrategia de modelación

El orden de integración se evaluó con las pruebas de Dickey-Fuller aumentada (ADF; Dickey & Fuller, 1979) y KPSS (Kwiatkowski et al., 1992), complementadas con la prueba de Zivot-Andrews de raíz unitaria con quiebre endógeno (Zivot & Andrews, 1992) y con pruebas de Chow (Chow, 1960) en puntos candidatos. Se eligió la familia Arima porque, para una serie anual univariada, no estacionaria y de longitud moderada ($n = 40$) como la analizada, ofrece el mejor compromiso entre parsimonia y capacidad de representar la dependencia temporal mediante diferenciación y términos de media móvil, admite en forma natural un regresor de intervención para aislar el choque de 2020 y dispone de un marco inferencial y de validación consolidado (Box et al., 2015; Hyndman & Athanasopoulos, 2021); frente a alternativas más complejas, contiene el sobreajuste que Hauer (2015) advierte para muestras cortas.

Sobre cada serie se ajustaron modelos Arima (p, d, q) seleccionados por el criterio de información de Akaike corregido para muestras pequeñas (AICc), comparando especificaciones con el término de intervención de 2020 y sin este. Como contrastes de robustez, desde familias metodológicas distintas, se estimaron un modelo de componentes no observados de tendencia local lineal (Harvey, 1989), que separa nivel, pendiente latente e irregular, y permite contrastar si la tendencia subyacente se estabiliza o sigue creciendo, y una regresión segmentada (*joinpoint*), que identifica regímenes de pendiente mediante puntos de quiebre óptimos (Kim et al., 2000); como referencia de pronóstico se incluyó, además, un suavizamiento exponencial de tendencia amortiguada. Todos los cálculos se hicieron en Python.

Validación y pronóstico

La capacidad predictiva se evaluó fuera de muestra, entrenando los modelos con las observaciones hasta 2021 y comparando sus predicciones contra el periodo

reservado 2022-2025, mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error absoluto medio (MAE) y el error porcentual absoluto medio (MAPE); se incluyó un modelo ingenuo con deriva como referencia mínima. El modelo seleccionado se reestimó sobre la serie completa para generar pronósticos en el horizonte 2026-2035, con hitos a 2030 y 2035 e intervalos de predicción al 95 %. La elección del horizonte respondió a un criterio de utilidad y de prudencia estadística: diez años (2035) coinciden con el cierre del Decenio de Acción 2021-2030, más un año de holgura, y con el término del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031, lo que hace la proyección directamente comparable con las metas de política; extenderla a 2040 habría ampliado los intervalos de predicción hasta niveles poco informativos para una serie anual de cuarenta observaciones.

Supuestos

El análisis asume estabilidad de la estructura paramétrica en el régimen posterior al último quiebre, independencia de los residuos una vez modelada la dependencia temporal y continuidad de las condiciones observadas durante el horizonte de proyección. Las desviaciones respecto a estos supuestos se discuten en las limitaciones.

Reproducibilidad

El análisis se implementó en Python 3.10 con *statsmodels* 0.14.6, *numpy* y *scipy*, con semilla fija. El código fuente,

los datos, las tablas de resultados, las figuras y un registro de versiones se entregan como material de soporte, de modo que cualquier revisor o coautor pueda reproducir íntegramente los cálculos. A continuación, se sintetiza el flujo metodológico (tabla 1).

RESULTADOS

Evolución temporal

La serie objeto de estudio se presenta más adelante (figura 1), que muestra en forma directa las dos variables sin superposición de modelos. El patrón es claramente no monótono y se ordena en tres fases diferenciadas: crecimiento (1986-1997), descenso (1997-2006) y recuperación (2006-2025). Las fatalidades crecieron desde 3.535 en 1986 hasta un máximo relativo a mediados de los años noventa, la tasa por 100.000 habitantes alcanzó su valor más alto de todo el periodo en 1995 (22,0) y la mortalidad descendió de manera sostenida hasta un valle extendido entre 2005 y 2012 —con el mínimo de fatalidades en 2005 (5.413) y el de la tasa en 2012 (11,9)— y posteriormente reanudó su crecimiento. En 2025, la tasa se ubica en 16,4 por 100.000: un nivel elevado, pero todavía inferior en aproximadamente un cuarto al pico de los años noventa. Este hallazgo matiza la lectura de los conteos absolutos, cuyo máximo histórico en 2025 obedece en parte al crecimiento poblacional.

Tabla 1
Síntesis metodológica: etapa, método y resultado asociado

Etapa	Método	Resultado
Trazabilidad	Integración de fuentes oficiales y normograma	Serie 1986-2025 (n = 40)
Estacionariedad	ADF, KPSS, Zivot-Andrews	Orden de integración d = 1
Quiebre	Pruebas de Chow en puntos candidatos	Región de quiebre $\approx$ 2000 (cambio de siglo)
Choque 2020	Término de intervención (pulso)	Efecto transitorio significativo
Modelación	Arima (p, d, q) por AICc + ETS amortiguado	Arima (0,1,2) con intervención
Validación	Fuera de muestra 2022-2025 (RMSE, MAE, MAPE)	Desempeño contrastado
Pronóstico	Arima, UCM y fase reciente; IP al 95 %	Escenarios 2026-2035 (hitos 2030, 2035)

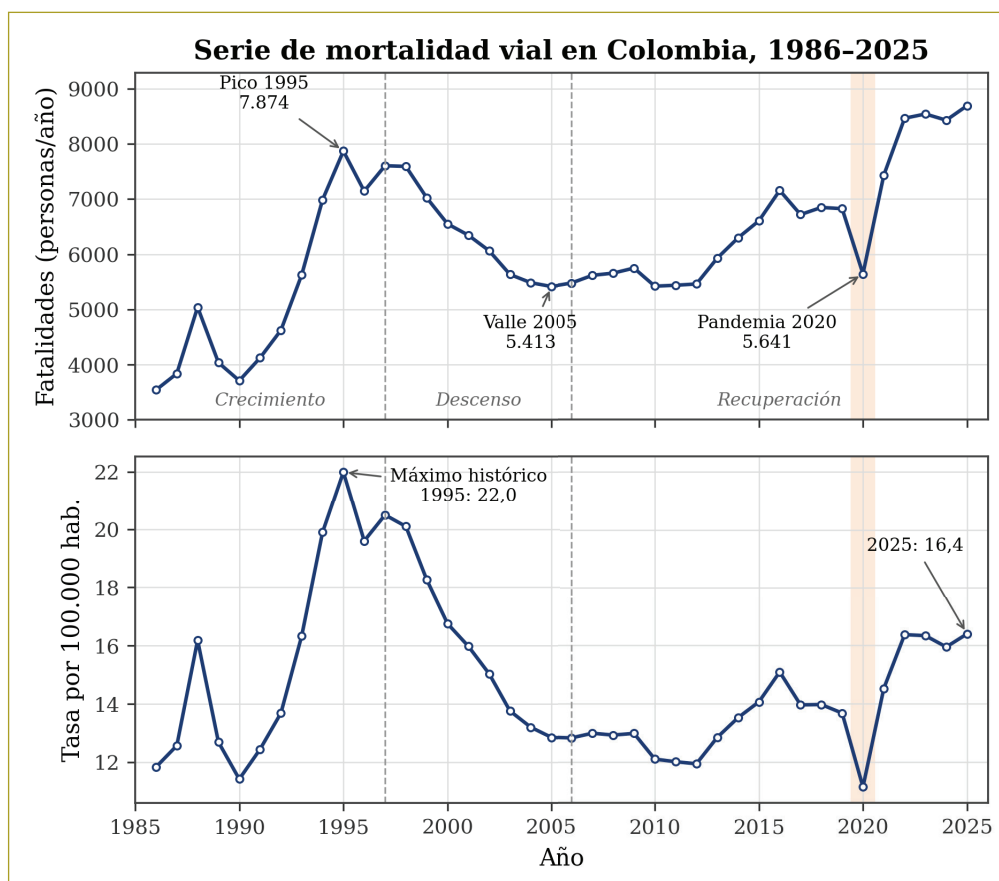


Figura 1. Serie objeto de estudio: fatalidades (panel superior) y tasa por 100.000 habitantes (panel inferior), Colombia 1986-2025, con los puntos de giro señalados.

Estacionariedad y quiebre estructural

La evidencia sugiere tratar ambas series como integradas de orden uno, principalmente por la ADF —que no rechaza la raíz unitaria en niveles ($p = 0,515$ para fatalidades; $p = 0,310$ para la tasa) y la rechaza en primeras diferencias ($p < 0,001$)— y por el comportamiento de las primeras diferencias; la KPSS ofrece un respaldo solo parcial, pues en niveles no rechaza la estacionariedad de la tasa (tabla 2).

La prueba de Zivot-Andrews ubica un candidato de quiebre hacia 1998, aunque no rechaza la hipótesis de raíz unitaria con quiebre, por lo que no constituye evidencia concluyente. Las pruebas de Chow alcanzan su máximo en el cambio de siglo —en torno a 2.000 ($F \approx 20$ para fatalidades y ≈ 24 para la tasa; $p < 0,001$), con 1999-2002 igualmente significativos—; el corte de 2002 es importante, pero no es el punto de máxima ruptura, de modo que su coincidencia con la expedición

del Código Nacional de Tránsito se debe leer como una asociación temporal y no como un quiebre estadísticamente dominante. El corte en 2020 resulta más débil, lo que respalda interpretar la pandemia como un choque transitorio antes que como un cambio estructural permanente.

En forma consistente, y desde una familia metodológica distinta, una regresión segmentada localiza puntos de quiebre en 1997 (IC 95 % *bootstrap* [1995; 1999]) y 2006 ([2004; 2009]) y delimita tres regímenes de pendiente bien diferenciados —crecimiento (+406), descenso (−290) y recuperación (+173 fatalidades/año)—; el procedimiento, su selección por BIC y los intervalos de los quiebres se documentan en el material suplementario (anexo C). Este resultado no valida las inferencias del Arima, pero es coherente con la estructura no monótona que aquí se describe (Kim et al., 2000).

Tabla 2

Pruebas de raíz unitaria (ADF y KPSS). La KPSS reporta $p \geq 0,10$ como límite superior. En niveles, no rechaza la estacionariedad; de ahí el respaldo solo parcial a un proceso I(1)

Serie / transformación	ADF (p)	KPSS (p)	Lectura combinada
Fatalidades (nivel)	0,515	0,067	ADF: raíz unitaria; KPSS no concluyente
Fatalidades (primera diferencia)	< 0,001	$\geq 0,10$	Estacionaria
Tasa (nivel)	0,310	$\geq 0,10$	ADF: raíz unitaria; KPSS no rechaza estacionaria
Tasa (primera diferencia)	< 0,001	$\geq 0,10$	Estacionaria

Modelo Arima con intervención

Para ambas series, el modelo seleccionado por AICc fue un Arima (0, 1, 2), con el término de intervención de 2020. El coeficiente del pulso es negativo y estadísticamente significativo —aproximadamente -1.295 fallecidos ($p < 0,001$) y $-2,53$ puntos en la tasa ($p = 0,002$)—, lo que confirma la magnitud del choque pandémico (tabla 3). El primer término de medias móviles es significativo pero el segundo no lo es, de modo que la dinámica se aproxima a un proceso de raíz unitaria con un componente de promedio móvil. Sobre el conjunto del periodo, la especificación no requirió término de deriva, hallazgo coherente con el carácter no monótono de la serie.

El modelo se seleccionó tras estimar una malla de especificaciones Arima (p, d, q) con $p, q \leq 2$ sobre las

series diferenciadas, con el término de intervención y sin este y con deriva y sin esta —treinta y cuatro configuraciones por serie—, ordenadas por AICc. En fatalidades, las dos mejores especificaciones resultaron muy próximas —Arima (1, 1, 2), con AICc de 548,7 y Arima (0, 1, 2) con 548,4—; se prefirió Arima (0, 1, 2) por parsimonia, por su menor BIC y por replicarse como óptimo en la serie de la tasa. De un modo decisivo, todas las especificaciones que omitían la intervención de 2020 mostraron un AICc sustancialmente peor (del orden de 566 frente a 548), lo que confirma la pertinencia de modelar el choque pandémico como regresor y no como dato imputado. La malla completa de modelos evaluados se reporta en el material suplementario.

Tabla 3

Modelo Arima (0, 1, 2) con intervención en 2020: coeficientes y diagnósticos de residuos (valores p; Durbin-Watson reportado como estadístico)

Parámetro / Prueba	Fatalidades	Tasa
Coeficientes: estimación (EE); valor p		
Intervención 2020	$-1.294,9$ (243,4); $p < 0,001$	$-2,53$ (0,81); $p = 0,002$
MA(1)	0,440 (0,129); $p < 0,001$	0,452 (0,118); $p < 0,001$
MA(2)	0,078 (0,161); $p = 0,627$	0,064 (0,145); $p = 0,660$
Diagnósticos de residuos (valor p; DW, estadístico)		
Ljung-Box, rezago 10 (sin autocorrelación)	0,282	0,237
Jarque-Bera (normalidad)	0,862	0,252
ARCH-LM, rezago 4 (homocedasticidad)	0,186	0,141
Durbin-Watson (estadístico)	2,17	2,28

Los diagnósticos de residuos son satisfactorios para ambas series (tabla 3). La prueba de Ljung-Box no detecta autocorrelación residual, la de Jarque-Bera no rechaza la normalidad y la prueba ARCH no evidencia heterocedasticidad condicional; por su parte, el estadístico de Durbin-Watson se sitúa próximo a 2. El modelo, por tanto, está correctamente especificado.

Validación fuera de muestra

Al entrenar con datos hasta 2021 y predecir 2022-2025, el modelo Arima alcanza un MAPE del 11,4 % en fatalidades y del 9,4 % en la tasa (tabla 4). En este horizonte particular —una meseta posterior al rebote pospandémico—, un modelo ingenuo con deriva resulta competitivo e incluso ligeramente superior en fatalidades, lo que se reporta con transparencia. La elección del Arima no se sostiene, por ende, en una superioridad de pronóstico específico, sino en tres ventajas de las que el modelo ingenuo carece: trata explícitamente el choque de 2020 como intervención, en vez de absorberlo como ruido; genera intervalos de predicción estadísticamente fundamentados, indispensables para comunicar la incertidumbre a la decisión pública, y modela la estructura de dependencia temporal de la serie. Esa es la justificación de su uso, pese a la competitividad del modelo ingenuo.

Pronósticos a cinco y diez años (2030 y 2035)

La inferencia se proyectó hasta 2035, fijando dos hitos —2030 (cinco años) y 2035 (diez años)—, y se contrastó mediante tres enfoques (tabla 5, figura 2). El escenario base, derivado del Arima sobre la serie completa, no incorpora deriva y proyecta una estabilización en torno a 8.850 fallecidos, con intervalos que se ensanchan de manera pronunciada (en 2035, de 4.922 a 12.782). Un modelo de componentes no observados de tendencia local lineal (Harvey, 1989), que estima la pendiente subyacente de la serie, arroja en cambio una pendiente latente positiva ($\approx +131$ fatalidades/año) y proyecta una subida moderada: 9.354 fallecidos en 2030 y 10.012 en 2035. Un tercer enfoque, que extrapola la fase de recuperación reciente (2006-2025) con un modelo con deriva, converge casi exactamente con el anterior: 9.274 en 2030 y 10.183 en 2035.

El resultado relevante es que dos enfoques independientes —el estructural y el de la fase reciente— coinciden en una trayectoria ascendente que superaría los 10.000 fallecidos hacia 2035, mientras que solo el Arima agrupado, al carecer de deriva sobre el conjunto del periodo, proyecta estabilidad. La inferencia prospectiva es, por consiguiente, sensible a cómo se especifique la tendencia, y el balance de los métodos se inclina hacia la continuidad del crecimiento más que hacia la estabilización.

Tabla 4

Validación fuera de muestra (2022-2025): error porcentual absoluto medio (MAPE, %)

Modelo	Fatalidades (MAPE)	Tasa (MAPE)
Arima (0, 1, 2) + intervención	11,4	9,4
ETS (tendencia amortiguada)	13,5	10,7
Ingenuo con deriva	9,6	9,5

Tabla 5

Pronósticos de fatalidades a 2030 y 2035 por tres enfoques: Arima base (serie completa, sin deriva), UCM de tendencia local lineal (Harvey) y extrapolación de la fase de recuperación reciente (2006-2025). Entre paréntesis, intervalos al 95 %

Horizonte	Arima base	UCM estructural	Tendencia reciente
2030 (5 años)	8.852 (6.174 - 11.530)	9.354 (6.942 - 11.766)	9.274 (8.068 - 10.481)
2035 (10 años)	8.852 (4.922 - 12.782)	10.012 (6.413 - 13.610)	10.183 (8.974 - 11.392)

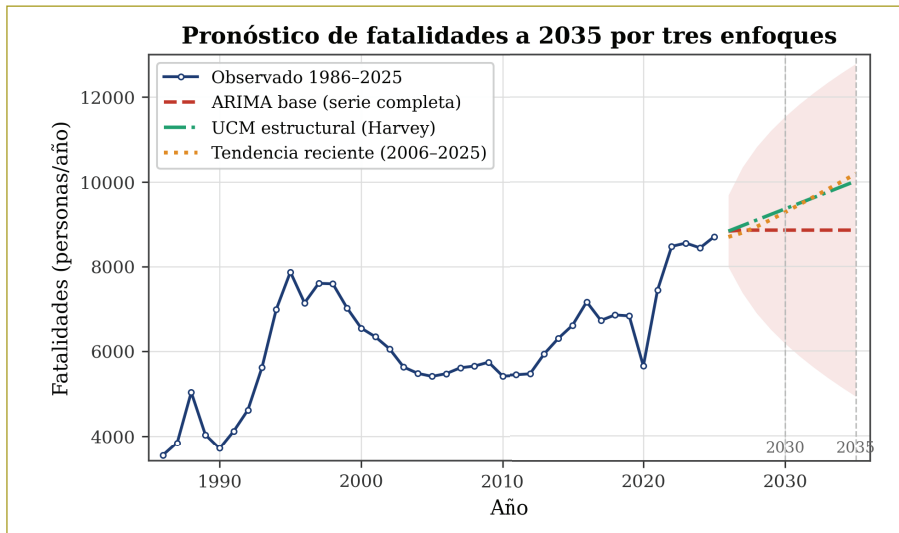


Figura 2. Pronóstico de fatalidades a 2035 por tres enfoques: Arima base, UCM estructural (Harvey) y tendencia reciente (2006-2025), con los hitos a cinco y diez años. El Arima agrupado proyecta estabilidad; los otros dos convergen en una subida moderada hacia ~10.000 fallecidos en 2035.

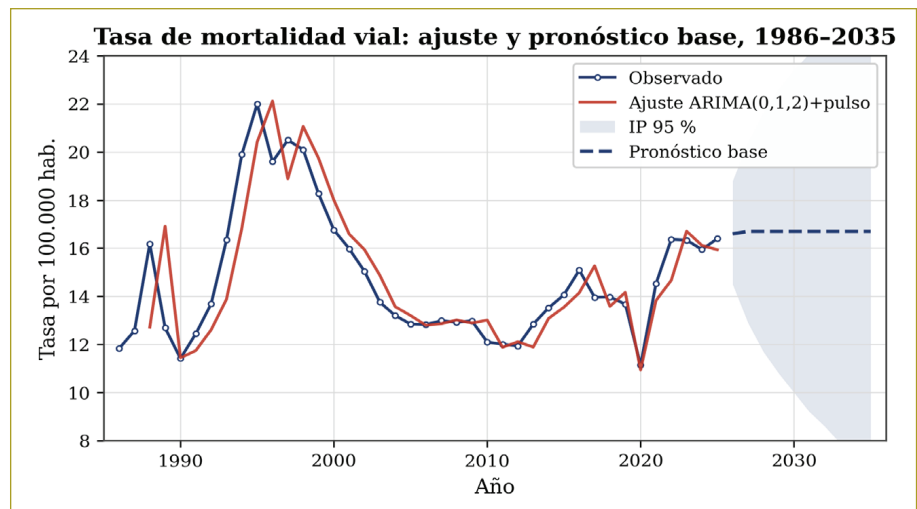


Figura 3. Tasa de mortalidad vial por 100.000 habitantes, con ajuste y pronóstico del escenario base (Colombia 1986-2025).

Confrontación con la meta del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031

El Plan Nacional de Seguridad Vial (PNSV) 2022-2031, adoptado por el Decreto 1430 de 2022, fija como meta central reducir la mortalidad vial en un 50 %, lo que en la tasa equivale a pasar de 14,2 (línea base 2021) a 7,1 por 100.000 habitantes en 2031 (Ministerio de Transporte, 2022). La confrontación con la trayectoria estimada es contundente (figura 4): ninguno de los tres enfoques se aproxima a la meta. La proyección base de la tasa para 2031 ($\approx 16,7$ por 100.000) más que duplica el objetivo —2,35 veces—,

y en fatalidades la meta (≈ 3.860) equivale a menos de la mitad de la cifra proyectada (~ 8.900 - 9.400). El punto crítico es que la serie se aleja del objetivo: entre la línea base de 2021 y la de 2025 la tasa aumentó un 12,9 % en lugar de descender. Alcanzar 7,1 en 2031 exigiría, desde 2025, una caída del 57 % en seis años (≈ -13 % anual sostenido), un ritmo más del doble del mayor descenso histórico documentado en la serie (≈ -5 % anual durante la fase 1997-2006). Salvo una intervención estructural sin precedentes, la meta del plan resulta, con la evidencia disponible, inalcanzable en su horizonte.

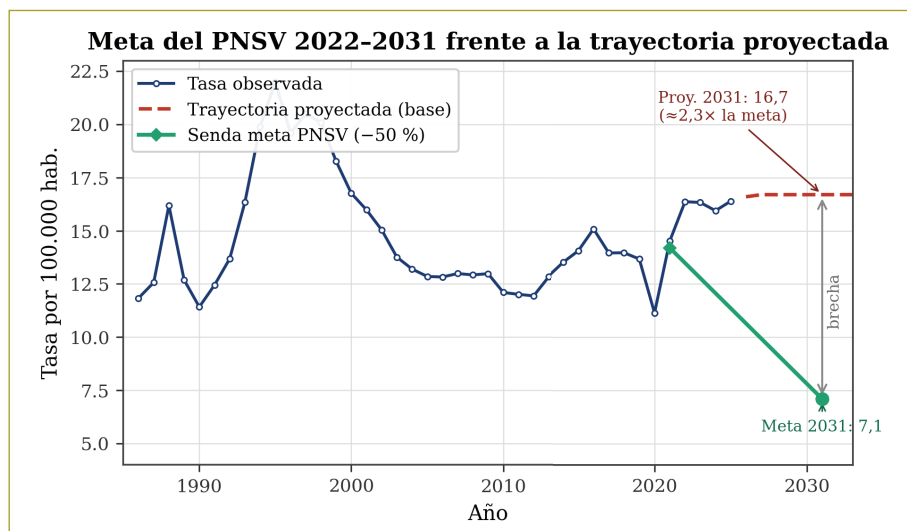


Figura 4
Meta del PNSV 2022-2031 (tasa de 14,2 a 7,1 por 100.000: -50 %) frente a la trayectoria proyectada de la tasa. La brecha en 2031 supera el doble de la meta.

Síntesis de hallazgos

Tres hallazgos resumen los resultados. Primero —y es el hallazgo central—, la reconstrucción de cuatro décadas revela una dinámica no monótona en tres fases (crecimiento 1986-1997, descenso 1997-2006 y recuperación 2006-2025): 2025 marca el máximo absoluto de fallecidos, pero no el máximo de riesgo per cápita, que sigue por debajo del pico de 1995, lo que refuta la lectura de un crecimiento continuo y reordena la interpretación de política. Segundo, el choque de 2020 es transitorio y significativo, y el modelo queda correctamente especificado. Tercero, el horizonte 2026-2035 se acota entre la estabilización (~8.850 fallecidos) que proyecta el Arima agrupado y una continuidad ascendente hacia ~10.000 fallecidos en 2035, sugerida en forma convergente por el modelo estructural de componentes no observados y por la extrapolación de la fase de recuperación; el balance de los métodos favorece esta segunda lectura.

DISCUSIÓN

La lectura de la serie completa modifica la narrativa habitual. Cuando el análisis se restringe a la última década y media, la mortalidad parece crecer inexorablemente; al incorporar cuatro décadas, se observa que Colombia ya había logrado revertir su mortalidad vial entre mediados de los años noventa y 2010, y que la situación actual representa una reversión parcial de aquel logro, más que un máximo sin precedentes en términos de riesgo per cápita. Esta perspectiva es coherente con la evidencia de que el descenso coincidió con la consolidación del

marco normativo; las pruebas de Chow alcanzan su máximo en el cambio de siglo (en torno a 2000), un periodo que coincide temporalmente con la expedición del Código Nacional de Tránsito (Ley 769 de 2002), si bien esa coincidencia no se debe leer como un quiebre estadísticamente atribuible a la norma. No obstante, la asociación entre hitos normativos y puntos de giro se debe interpretar con cautela: la fecha de promulgación no equivale a la de aplicación efectiva, y el repunte posterior a 2010 está dominado por la expansión del parque de motocicletas más que por cambios legislativos (Ospina-Mateus et al., 2020; Quintero Valverde et al., 2023).

Un elemento institucional ayuda a interpretar la forma de la serie. La fase de descenso —de mediados de la década de los noventa al año 2010— se solapa con el periodo de operación del Fondo de Prevención Vial (FPV), creado por el artículo 244 de la Ley 100 de 1993 y financiado de manera estable con el 3 % de las primas del Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito (SOAT), que durante cerca de dos décadas desarrolló campañas masivas y estudios técnicos de prevención (Alarcón et al., 2018). La Ley 1702 de 2013 liquidó el FPV y creó la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV), la cual, sin embargo, solo inició operaciones a finales de 2015.

El repunte sostenido de la mortalidad coincide temporalmente con esa transición institucional y con la expansión acelerada del parque de motocicletas. La coincidencia sugiere una hipótesis —que la continuidad

de una institución especializada con financiación estable contribuyó al descenso y que su discontinuidad debilitó la prevención— que el presente diseño no permite confirmar: se trata de una asociación temporal, no de una relación causal establecida, y concurre con otros factores, como la recesión de 1999, la motorización y los cambios de exposición. Contrastarla exigiría un diseño de series de tiempo interrumpidas en torno a 2013-2015 (Quintero Valverde et al., 2023), esto es, una línea de investigación prioritaria. En términos metodológicos, una serie agregada anual como la analizada permite localizar puntos de giro y formular hipótesis, pero no identificar sus causas: la atribución causal requiere variación exógena, controles de exposición y un diseño cuasiexperimental, ausentes por construcción en un solo agregado nacional. Esta es, precisamente, la frontera entre lo que el presente estudio establece —una reconstrucción y caracterización robustas— y lo que deja planteado como agenda.

La lectura institucional conduce a una reflexión de gobernanza que la evidencia del estudio respalda indirectamente. Desde el Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito (Peden et al., 2004), la siniestralidad vial se entiende como un problema de salud pública prevenible que exige acción multisectorial; tanto la Declaración de Estocolmo como el Plan Mundial para el Decenio de Acción 2021-2030 enmarcan la respuesta en un enfoque de «todo el gobierno» y «toda la sociedad», con responsabilidad compartida entre sectores (OMS, 2021 y 2023). La persistencia de la tendencia y la magnitud de la brecha frente a la meta del PNSV sugieren que mantener un modelo de respuesta liderado de manera predominante por el sector del transporte —por intermedio del Ministerio de Transporte y la ANSV— difícilmente revertirá la trayectoria.

En ese orden de ideas, dos sectores que desempeñan un papel organizacional aparecen subrepresentados en la estructura colombiana. El sector de la salud es central por la rectoría del fenómeno como asunto de salud pública, por la vigilancia epidemiológica y los sistemas de información de lesiones, así como por la atención prehospitalaria y de trauma que determina la letalidad de los siniestros: el quinto pilar del sistema seguro —la respuesta postsiniestro— es, en esencia, competencia sanitaria (OMS, 2021; Larsson et al., 2010). El sector educativo, por su parte, es decisivo por su capacidad

de formar comportamientos y cultura vial de manera temprana y sostenida, una palanca a largo plazo que ningún organismo de tránsito puede sustituir.

En este análisis no se mide la contribución de cada sector —esto excede su alcance—, pero la conjunción de una mortalidad que no cede, una meta inalcanzable en el marco vigente y un único episodio histórico de descenso, asociado a una institucionalidad especializada y financiada, es coherente con la hipótesis de que la acción concentrada en un solo sector resulta insuficiente. La inferencia de política no es, por tanto, «hacer más de lo mismo», sino transitar hacia una gobernanza genuinamente intersectorial, en la que la salud y la educación sean corresponsables y no actores periféricos; evaluar empíricamente el aporte diferencial de cada sector constituye, en sí mismo, una agenda de investigación (Wegman, 2017).

El tratamiento del año 2020 como intervención y no como dato imputado resultó decisivo. El coeficiente del pulso cuantifica el descenso pandémico con su propia incertidumbre y deja que el modelo capte la dinámica subyacente, sin contaminar la estimación con un valor artificial. Frente a aproximaciones previas que proyectaban una aceleración pronunciada, el Arima sobre la serie larga sugiere una estabilización en torno a los niveles recientes. No obstante, esa lectura depende de cómo se especifique la tendencia: un modelo estructural de componentes no observados, que admite una pendiente latente, detecta un crecimiento subyacente persistente ($\approx +130$ fatalidades/año) y proyecta una subida moderada hacia 2035, coincidente con la extrapolación de la fase de recuperación.

El balance de los métodos se inclina, por consiguiente, hacia una continuidad del crecimiento más que hacia la estabilización, y lo prudente es comunicar el pronóstico como un rango —entre estabilización y subida moderada— antes que como una cifra única, sin minimizar su gravedad para la política pública.

La calidad de los datos condiciona toda inferencia: el subregistro y la mala clasificación documentados para Colombia (Rodríguez Hernández et al., 2025) y las discontinuidades metodológicas de la serie obligan a tratar el tramo reciente con prudencia. A su vez, en la bibliografía regional se documenta una participación creciente de los motociclistas en la mortalidad (Castañeda-Millán & Eslava-Schmalbach, 2024; De Oliveira Santiago et al., 2023; Malta et al., 2023), un fenómeno

cuya caracterización desagregada para Colombia excede el alcance de la serie agregada analizada aquí y constituye una línea de trabajo futura. Finalmente, la ausencia de una estimación local del valor estadístico de la vida (VEV) limita la valoración económica del costo social de la inacción (Viscusi & Aldy, 2003; Andersson & Treich, 2011), una brecha que esta línea de investigación busca cerrar.

Limitaciones

Cuatro limitaciones acotan el alcance de las inferencias, por lo cual conviene explicarlas:

1. Se trata de una serie agregada anual, sin variables de exposición —parque automotor, vehículos-kilómetro recorridos o composición modal—, por lo que el análisis caracteriza la dinámica temporal pero no identifica sus determinantes.
2. La asociación entre los puntos de giro y los hitos normativos e institucionales es de naturaleza temporal, no causal, y concurre con factores económicos y de motorización; establecer causalidad exigiría variación exógena, controles de exposición y un diseño cuasiexperimental, ausentes por construcción en un solo agregado nacional.
3. El subregistro y las discontinuidades metodológicas documentadas para la serie obligan a tratar el tramo reciente con prudencia.
4. Los pronósticos asumen la continuidad del régimen posterior al último quiebre, de modo que un cambio estructural —regulatorio, tecnológico o de exposición— alteraría la trayectoria proyectada.

Estas limitaciones delimitan con precisión la frontera entre lo que se establece en el estudio —una reconstrucción y caracterización robustas— y lo que se deja planteado como agenda de investigación.

CONCLUSIONES

En relación con el primer objetivo, los modelos de series de tiempo indican que la mortalidad vial colombiana sigue un proceso integrado de orden, uno cuya dinámica a largo plazo es no monótona; la evidencia es consecuente con la hipótesis H1, de un máximo en los años noventa y una reversión parcial reciente. En

lo referente al tratamiento del choque de 2020, los resultados sugieren un efecto transitorio y significativo, en consonancia con la hipótesis H2, lo que valida su modelación como intervención antes que como cambio permanente de régimen.

Respecto del segundo objetivo, la inferencia a cinco y diez años (2030 y 2035) delimita un rango entre la estabilización en torno a 8.850 fallecidos que proyecta el Arima agrupado y una trayectoria ascendente hacia 10.000 fallecidos en 2035, sugerida en forma convergente por el modelo estructural de componentes no observados y por la extrapolación de la fase de recuperación; el balance de los métodos favorece la continuidad del crecimiento. La amplitud creciente de los intervalos aconseja interpretar estos hitos como un rango de escenarios y no como cifras cerradas.

De esta inferencia se desprende una implicación de política directa: la meta del Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031 —reducir la mortalidad un 50 %, hasta 7,1 por 100.000 habitantes en 2031— resulta, con la trayectoria estimada, inalcanzable. La proyección para 2031 ($\approx 16,7$ por 100.000) más que duplica el objetivo, y el país se ha alejado de la línea base desde 2021; cumplirla exigiría una reducción cercana al 57 % en seis años, un quiebre estructural sin precedentes en cuatro décadas de registro. Revertir esa trayectoria exige, más que intensificar el esfuerzo de un solo sector, una gobernanza intersectorial que incorpore como corresponsables a los sectores de salud y educación, coherente con el enfoque de «todo el gobierno» del sistema seguro (OMS, 2021; Peden et al., 2004).

El estudio aporta una actualización empírica basada en una serie de cuatro décadas, una contribución metodológica al integrar modelos Arima con un término de intervención y validación fuera de muestra, y una contribución aplicada al vincular la dinámica con la cronología normativa e institucional. Entre las limitaciones, la serie no se pudo normalizar por vehículos-kilómetro recorridos, el horizonte de validación es corto y la calidad del dato reciente está sujeta a discontinuidades. La agenda incluye modelos explicativos con variables de exposición, la estimación local del valor estadístico de la vida, la evaluación causal de la transición del Fondo de Prevención Vial a la ANSV mediante series de tiempo interrumpidas, al igual que la actualización de la serie a medida que se acumulen observaciones.

IMPLICACIONES Y RECOMENDACIONES

En materia de monitoreo y gestión, los resultados aconsejan institucionalizar un seguimiento continuo de la serie con criterios de trazabilidad estables, que permita distinguir oportunamente entre fluctuaciones y verdaderos cambios de régimen, y evaluar el efecto de las intervenciones con diseños de series de tiempo interrumpidas. La experiencia del periodo de descenso, asociado a una institucionalidad especializada con financiación estable, sugiere además la conveniencia de preservar continuidad y recursos sostenidos en la gestión de la seguridad vial. Ese seguimiento debería contrastar en forma explícita la trayectoria observada con la senda de la meta del PNSV 2022-2031 —hoy ampliamente incumplida— para activar correcciones tempranas y evaluar la verosimilitud del objetivo.

Por último, la evidencia respalda transitar de un esfuerzo liderado por el sector del transporte hacia una gobernanza multisectorial con corresponsabilidad explícita de los sectores de salud y educación, coherente con el principio de responsabilidad compartida del sistema seguro; persistir en un abordaje monosectorial hace poco verosímil cualquier meta ambiciosa de reducción.

En materia de seguridad de los usuarios de dos ruedas, la evidencia regional sobre la creciente participación de los motociclistas en la mortalidad (Castañeda-Millán & Eslava-Schmalbach, 2024) sugiere la conveniencia de intervenciones diferenciadas que atiendan la exposición, la motorización informal y la vulnerabilidad de este grupo, en coherencia con el enfoque de sistema seguro adoptado por el país; su caracterización desagregada para Colombia constituye, además, una línea prioritaria de investigación.

Como líneas futuras de investigación, se recomienda incorporar variables de exposición, avanzar en la estimación del valor estadístico de la vida para Colombia mediante métodos de preferencias declaradas, y explorar modelos estructurales y explicativos que articulen la dinámica observada, con sus determinantes normativos, económicos y de movilidad.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Durante la preparación de este trabajo, el autor utilizó herramientas de inteligencia artificial como apoyo en la organización del análisis estadístico, la depuración del

código de procesamiento, la verificación de consistencia numérica y la edición de estilo del manuscrito. Todas las decisiones metodológicas, la interpretación de los resultados y la redacción final las hizo y revisó el autor, quien asume la responsabilidad plena del contenido. Los datos, el código y los soportes de los cálculos se conservan para su verificación.

REFERENCIAS

- Alarcón, J. D., Gich, I., Vallejo, L., Ríos, A. M., Montalvo, C., y Bonfill, X. (2018). Mortalidad por accidentes de tráfico en Colombia. Estudio comparativo con otros países. *Revista Española de Salud Pública*, 92, e201807040.
- Andersson, H., y Treich, N. (2011). The value of a statistical life. En *A handbook of transport economics* (pp. 396-424). Edward Elgar.
- Berrones-Sanz, L. D. (2017). Analysis of accidents and injuries on motorcycles in Mexico. *Gaceta Médica de México*, 153(6), 662-671. <https://doi.org/10.24875/GMM.M18000053>.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., y Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control* (5th ed.). Wiley.
- Castañeda-Millán, G., y Eslava-Schmalbach, J. (2024). Tendencias en la mortalidad por accidentes de tránsito en motocicleta en Colombia, 2008-2021. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 48, e44. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2024.44>.
- Chow, G. C. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. *Econometrica*, 28(3), 591-605. <https://doi.org/10.2307/1910133>.
- Commandeur, J. J. F., Bijleveld, F. D., Bergel-Hayat, R., Antoniou, C., Yannis, G., y Papadimitriou, E. (2013). On statistical inference in time series analysis of the evolution of road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 60, 424-434. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.11.006>.
- Congreso de la República de Colombia (2002). *Ley 769 de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5557>.
- Congreso de la República de Colombia (2013). *Ley 1702 de 2013. Por la cual se crea la Agencia Nacional de Seguridad Vial y se dictan otras disposiciones*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=56286>.
- De Oliveira Santiago, M. L., et al. (2023). Mortalidade e anos de vida ajustados por incapacidade de motociclistas na América Latina e Caribe. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 47, e68. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.68>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2023). Proyecciones de población nacional, 1985-2035 [conjunto de datos]. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>.
- Dickey, D. A., y Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427-431. <https://doi.org/10.2307/2286348>.
- Harvey, A. C. (1989). *Forecasting, structural time series models and the Kalman filter*. Cambridge University Press.
- Hauer, E. (2015). *The art of regression modeling in road safety*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12529-9>.
- Hyndman, R. J., y Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: principles and practice* (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>.

- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2024). Cifras de lesiones de causa externa: muertes en accidentes de transporte [conjunto de datos]. <https://www.medicinalegal.gov.co/cifras-de-lesiones-de-causa-externa>.
- International Transport Forum (2024). *Road safety annual report 2024*. OECD Publishing.
- Kim, H.-J., Fay, M. P., Feuer, E. J., y Midthune, D. N. (2000). Permutation tests for joinpoint regression with applications to cancer rates. *Statistics in Medicine*, 19(3), 335-351.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., y Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).
- Larsson, P., Dekker, S. W. A., y Tingvall, C. (2010). The need for a systems theory approach to road safety. *Safety Science*, 48(9), 1167-1174. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.10.006>.
- Malta, D. C., et al. (2023). Mortality by road transport injury in Brazilian municipalities between 2000 and 2018. *Public Health*, 220, 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.04.013>.
- Ministerio de Transporte (2022). *Plan Nacional de Seguridad Vial 2022-2031* (Decreto 1430 de 2022). República de Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=191348>.
- Murillo-Hoyos, J., García-Moreno, L. M., Tinjacá, N., y Jaramillo, C. (2023). Mortalidad por lesiones de tránsito y desigualdades sociales en Colombia, 2019. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 47, e121. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2023.121>.
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2025). Personas fallecidas en siniestros viales. Colombia, 1986-2025 [conjunto de datos]. Agencia Nacional de Seguridad Vial. <https://ansv.gov.co/es/observatorio/estadisticas/personas-fallecidas-en-siniestros-viales>.
- Organización Mundial de la Salud (2021). *Plan Mundial para el Decenio de Acción por la Seguridad Vial 2021-2030*. OMS. <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>.
- Organización Mundial de la Salud (2023). *Global status report on road safety 2023*. OMS. <https://www.who.int/publications/item/9789240086517>.
- Ospina-Mateus, H., Quintana Jiménez, L. A., y Lopez-Valdes, F. J. (2020). Understanding motorcyclist-related accidents in Colombia. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 27(2), 215-231. <https://doi.org/10.1080/17457300.2020.1725895>.
- Peden, M., Scurfield, R., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, A. A., Jarawan, E., y Mathers, C. (eds.) (2004). *World report on road traffic injury prevention*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/42871>.
- Quintero Valverde, C., et al. (2023). Evaluation of road safety policies and their enforcement in Mexico City, 2015-2019: an interrupted time-series study. *Injury Prevention*, 29(1), 35-41. <https://doi.org/10.1136/ip-2022-044590>.
- Rodríguez Hernández, J. M., Chaparro Narváez, P. E., Hidalgo Troya, A., y Piñeros Garzón, F. S. (2025). Undercounts stemming from misclassification derived from fatal injuries in traffic crashes in Colombia, 2010 to 2021. *Traffic Injury Prevention*, 27(3), 278-286. <https://doi.org/10.1080/15389588.2025.2495863>.
- Tingvall, C., y Haworth, N. (1999). *Vision Zero: An ethical approach to safety and mobility*. 6th ITE International Conference, Melbourne.
- Viscusi, W. K., & Aldy, J. E. (2003). The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty*, 27(1), 5-76. <https://doi.org/10.1023/A:1025598106257>.
- Wegman, F. (2017). The future of road safety: a worldwide perspective. *IATSS Research*, 40(2), 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2016.05.003>.
- Yannis, G., Antoniou, C., y Papadimitriou, E. (2011). Autoregressive nonlinear time-series modeling of traffic fatalities in Europe. *European Transport Research Review*, 3(3), 113-127. <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0055-4>.
- Zivot, E., y Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251-270. <https://doi.org/10.1080/07350015.1992.10509904>.